

## **PENENTUAN KOORDINAT BUMI (X,Y,Z) DENGAN TEKNIK TRANSFORMASI KAEDAH LANGSUNG (DLT) UNTUK APLIKASI FOTOGRAMETRI JARAK DEKAT**

**Zulkepli Bin Majid**

Sarjana Muda Ukur Tanah (UTM)  
Fakulti Kejuruteraan Dan Sains Geoinformasi  
Universiti Teknologi Malaysia  
E-mail : zulkepli@fkg.utm.my

### **Abstrak**

Kertas ini membincangkan penggunaan teknik transformasi kaedah langsung (DLT) untuk penentuan koordinat bumi (X,Y,Z) untuk aplikasi bidang fotogrametri jarak dekat. Beberapa titik-titik kawalan ditubuhkan dengan koordinat ditentukan melalui kaedah persilangan teodolit. Objek dicerap menggunakan kamera video dan ditekang menggunakan alat Frame-grabber. Koordinat piksel dicerap melalui perisian MATROX INSPECTOR dan diproses dengan program pengaturcaraan DLT yang direkabentuk. Semua prosedur yang terlibat dibincangkan.

### **1.0 PENGENALAN**

Terdapat pelbagai cara yang boleh digunakan untuk menentukan nilai koordinat (X,Y,Z) sesuatu titik atau objek di permukaan bumi. Kebanyakannya melibatkan beberapa kaedah transformasi yang diantaranya adalah transformasi Affine, transformasi linear dan sebagainya. Beberapa semakan juga dilakukan untuk membandingkan ketepatan koordinat yang dihasilkan berbanding koordinat cerapan asli.

Kertas ini menentengahkan teknik transformasi kaedah langsung atau singkatannya DLT (Direct Linear Transformation) di dalam proses penentuan koordinat-koordinat titik-titik dipermukaan objek dan aplikasinya untuk bidang fotogrametri jarak dekat. Satu objek ujian telah direkabentuk yang mengandungi 9 titik-titik kawalan dengan 20 titik-titik cerapan yang lain. Kaedah persilangan teodolit dilakukan untuk menentukan koordinat titik-titik kawalan dan titik-titik cerapan yang dijadikan sebagai rujukan serta perbandingan terhadap kerja yang dilakukan.

### **2.0 TRANSFORMASI KAEDAH LANGSUNG (DLT)**

Teknik transformasi kaedah langsung atau "Direct Linear Transformation (DLT)" yang menggunakan syarat kekolinearan sebagai dasar utama. Teknik ini diperkenalkan oleh Abdel Aziz dan Karara (1971) mempamerkan satu kaedah transformasi secara terus diantara koordinat komparator ke koordinat objek tanpa melibatkan penggunaan titik fidusal, pembezaan dan anggaran yang mana amat diperlukan di dalam penyelesaian secara konvensional. Pada awalnya kaedah ini diperkenalkan untuk kegunaan kamera bukan metrik yang tidak menitikberatkan perkara-perkara di atas.

Syarat kekolinearan di dalam teknik DLT ialah satah objek, kanta dan satah imej mestilah terletak di atas satu garis lurus. Secara amnya, syarat kekolinearannya adalah berdasarkan kepada hubungan transformasi berikut :

$$\begin{bmatrix} x - x_p \\ y - y_p \\ -c \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - X_o \\ Y - Y_o \\ Z - Z_o \end{bmatrix} \quad (1)$$

dimana;

- $x, y$  - koordinat foto yang telah diperbaiki
- $x_p, y_p$  - koordinat foto titik prinsipal di atas fotograf
- $c$  - jarak prinsipal kamera
- $\lambda$  - faktor skala
- $m_{ij}$  - elemen matrik putaran
- $X, Y, Z$  - koordinat objek titik
- $X_o, Y_o, Z_o$  - koordinat objek pusat prespektif kamera

Daripada syarat kekolinearan di atas, satu persamaan DLT telah diterbitkan dengan menggambarkan 11 parameter ( $L_i$ ) seperti berikut :

$$x + \Delta x = \frac{L_1 X + L_2 Y + L_3 Z + L_4}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1} \quad (2)$$

$$y + \Delta y = \frac{L_5 X + L_6 Y + L_7 Z + L_8}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1}$$

Bagi teknik transformasi kaedah langsung, kesalahan sistematik yang dibetulkan dan bilangan parameter anu yang diselesaikan adalah mengikut spesifikasi di dalam Jadual 1 berikut.

Kesalahan Sistematik Yang Dibetulkan	Parameter Anu	Bilangan Parameter Anu	Bilangan Titik Kawalan
(a) Komponen linear untuk deformasi filem, erotan kanta dan kesalahan komparator	$L_1$ hingga $L_{11}$	11	6
(b) Parameter pertama erotan kanta simetri dan kesalahan linear	$L_1$ hingga $L_{11}$ , $K_1$	12	7
(c) Parameter pertama, kedua dan ketiga erotan kanta simetri dan kesalahan linear	$L_1$ hingga $L_{11}$ , $K_1$ , $K_2$ dan $K_3$	14	8
(d) Parameter pertama, kedua dan ketiga bagi erotan kanta simetri, dua parameter erotan kanta tak simetri dan kesalahan linear	$L_1$ hingga $L_{11}$ , $K_1$ , $K_2$ , $K_3$ , $P_1$ , $P_2$	16	8

Jadual 1 : Kesalahan Sistematik Dan Bilangan Parameter Anu Untuk DLT

Spesifikasi yang dipaparkan di atas menjadi panduan kepada pengguna-pengguna teknik transformasi kaedah langsung mengenai berapakah bilangan parameter anu yang hendak diselesaikan dan berapakah bilangan titik-titik kawalan yang diperlukan untuk menyelesaikan masalah tersebut.

Penentuan nilai koordinat bumi dengan menggunakan teknik DLT dapat diselesaikan dengan menggunakan pelarasan kuasa dua terkecil iaitu :

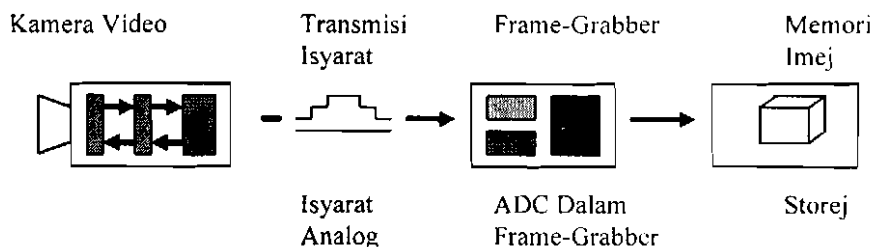
$$\begin{aligned} (\bar{x}L_9 - L_1)X + (\bar{x}L_{10} - L_2)Y + (\bar{x}L_{11} - L_3)Z + (\bar{x} - L_4) &= 0 \\ (\bar{y}L_9 - L_5)X + (\bar{y}L_{10} - L_6)Y + (\bar{y}L_{11} - L_7)Z + (\bar{y} - L_8) &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Dalam setiap fotograf, kita boleh nyatakan bahawa untuk setiap titik set pertama persamaan (2). Jika terdapat  $p$  fotograf digunakan di dalam penyelesaian, kita akan memperolehi  $2p$  bilangan persamaan untuk dihitung untuk parameter anu  $X, Y, Z$ , iaitu koordinat objek bagi titik tersebut. Bilangan darjah kebebasan akan menjadi  $DF=2p-3$ . Penyelesaian bagi kes penentuan koordinat  $X, Y$  dan  $Z$  untuk objek juga dilakukan dengan menggunakan kaedah pelarasan kuasa dua terkecil.

### 3.0 SISTEM PEMEROLEHAN DATA DAN UJIKAJI

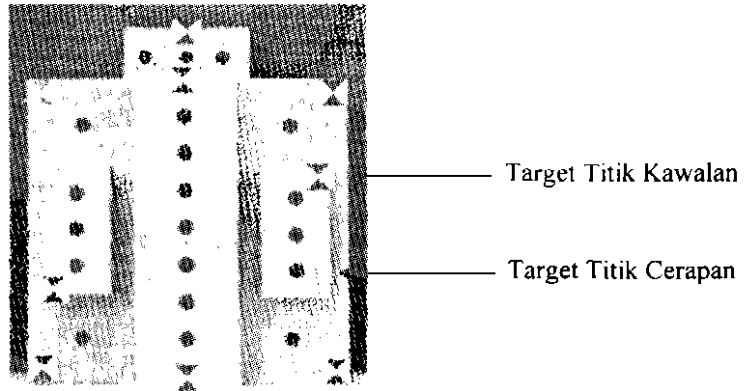
Di dalam kajian yang telah dilakukan, kamera video NATIONAL M7 telah digunakan. Kamera ini beroperasi berasaskan kepada penderia CCD dan mempunyai kemampuan memfokus secara automatik dengan nisbah pembesaran 1:14 dengan pembesaran kanta dari 9.00mm ke 54.00mm.. Sistem pemerolehan data yang direkabentuk beroperasi secara talian terus (on-line) dengan gabungan kamera video, frame-grabber dan komputer peribadi.

Kamera video yang digunakan beroperasi dalam isyarat analog dimana, alat frame-grabber digunakan selain untuk mengekang bingkai imej, juga bertindak sebagai alat penukar daripada isyarat analog ke isyarat digital. Mengapakah perlunya proses ini ?. Dari segi praktiknya, isyarat yang boleh dan hanya boleh diterima oleh komputer adalah isyarat digital. Oleh yang demikian, penggunaan alat frame-grabber adalah penting. Gambarajah 1 menunjukkan transmisi isyarat dan alat frame-grabber untuk kamera analog.



Gambarajah 1 : Transmisi Isyarat Dan Penggunaan Alat Frame Grabber Kamera Analog

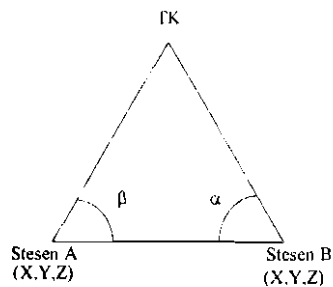
Satu objek ujian telah direkabentuk yang berukuran  $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$  dengan ketebalan  $0.1\text{m}$ . Objek ujian ini mempunyai lima permukaan yang berlainan kedalaman permukaan dan dilengkapi dengan 9 titik-titik kawalan dan 20 titik-titik cerapan (yang juga digunakan sebagai titik kawalan untuk beberapa kes). Titik-titik kawalan ditempatkan secara berselerak di lima permukaan objek ujian. Target untuk titik kawalan berukuran  $2.5\text{cm} \times 2.5\text{cm}$  manakala titik cerapan berbentuk bulatan berdiameter  $2.0\text{cm}$ , lihat Gambarajah 2



**Gambarajah 2 :** Objek Ujian Dengan Titik Kawalan Dan Titik Cerapan

Objek yang dicerap dengan kamera video akan melalui proses penukaran daripada isyarat analog kepada isyarat digital dan dikekang dengan alat frame-grabber. Proses pengekangan dilakukan dengan menggunakan perisian MATROX INSPECTOR FOR WINDOWS dengan menggunakan menu-menu yang disediakan. Dengan menggunakan perisian ini jugalah koordinat-koordinat piksel (x,y) bagi titik-titik kawalan dan titik-titik cerapan dilakukan.

Koordinat-koordinat bumi (X,Y,Z) bagi titik-titik kawalan dan juga titik-titik cerapan ditentukan dengan menggunakan kaedah persilangan teodolit daripada dua stesen yang dianggarkan koordinatnya sebagai koordinat diketahui. Di setiap stesen teodolit, cerapan sudut mendatar dan sudut pугak dilakukan. Tinggi alat diukur dengan pita ukur. Gambarajah 3 menunjukkan pandangan plan kaedah persilangan teodolit.



**Gambarajah 3 :** Kaedah Silangan Teodolit

Penentuan Koordinat Bumi (X,Y,Z) Dengan Teknik Transformasi Kaedah Langsung (DLT)  
Untuk Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat

Hitungan koordinat dilakukan dengan rumusan di bawah :

$$\begin{aligned} X_{lk} &= [(Z_{sm2} - Z_{sm1}) + X_{sm1} \cot \beta + X_{sm2} \cot \alpha] / [\cot \alpha + \cot \beta] \\ Z_{lk} &= [(X_{sm1} - X_{sm2}) + Z_{sm1} \cot \beta + Z_{sm2} \cot \alpha] / [\cot \alpha + \cot \beta] \text{ dan} \\ Y_{lk} &= AL_{sm1} + Ta_{sm1} \pm V_{sm1} \text{ atau } Y_{lk} = AL_{sm2} + Ta_{sm2} \pm V_{sm2} \end{aligned} \quad (4)$$

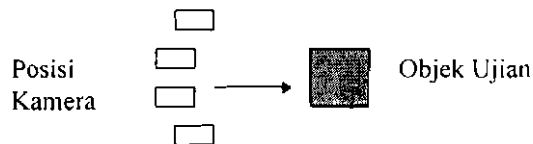
dimana:

$AL$  = Aras Laras (ketinggian)

$Ta$  - Tinggi Alat

$V$  = Komponen Pugak

Proses pengambaran dilakukan dengan meletakkan kamera video di empat stesen yang berlainan posisinya. Posisi kamera video ketika cerapan dilakukan adalah seperti di dalam Gambarajah 4.



**Gambarajah 4 : Pengambaran Dengan Empat Stesen Kamera**

Dengan gabungan koordinat bumi dan koordinat piksel titik-titik kawalan dan titik-titik cerapan serta beberapa perkara lain seperti nilai ralat piawai cerapan teodolit dan cerapan koordinat piksel, pemprosesan data dilakukan dengan menggunakan program pengaturcaraan DLT dengan perkara-perkara di atas adalah bertindak sebagai data input.

#### 4.0 KOORDINAT BUMI TITIK KAWALAN DAN TITIK CERAPAN

Hasil kajian terdiri daripada koordinat-koordinat bumi (X,Y,Z) titik-titik kawalan yang dihitung dengan menggunakan rumusan (3). Jadual 2 menunjukkan senarai titik-titik kawalan serta koordinat bumi yang telah dihitung.

Titik	X (m)	Y (m)	Z (m)
001	10.5317	1.2891	7.6389
002	10.7617	1.3990	7.6002
003	10.7506	1.2868	7.7975
004	10.9903	1.2888	7.6605
005	10.9541	1.1451	7.7504
006	10.5620	0.9676	7.7333

... sambungan

007	10.5372	0.8364	7.6362
008	10.7585	0.8361	7.7904
009	10.9968	0.8327	7.6459
301	10.5982	1.2349	7.6397
302	10.6958	1.3551	7.5938
303	10.7620	1.3547	7.5973
304	10.8185	1.3543	7.6003
305	10.7541	1.2312	7.7952
306	10.9237	1.2343	7.6541
307	10.7550	1.1753	7.7943
308	10.7557	1.1194	7.7933
309	10.5944	1.1165	7.7335
310	10.9202	1.1114	7.7464
311	10.5953	1.0604	7.7332
312	10.7564	1.0624	7.7923
313	10.9217	1.0551	7.7451
314	10.5962	1.0038	7.7328
315	10.7537	1.0063	7.7913
316	10.9230	0.9985	7.7434
317	10.5998	0.8863	7.6361
318	10.7583	0.9503	7.7906
319	10.9276	0.8849	7.6443
320	10.7292	0.8938	7.7901

Jadual 2 : Koordinat Objek Titik-Titik Kawalan Dan Titik Cerapan

## 5.0 HASIL DAN ANALISIS

Hasil kajian terdiri daripada koordinat-koordinat bumi untuk 9 titik kawalan yang memperlihatkan perbandingan diantara koordinat diberi (kaedah persilangan teodolit) dan koordinat dihitung (kaedah DLT) serta perbezaan yang wujud diantaranya. Titik-titik transformasi juga diberikan yang terdiri daripada 20 titik-titik cerapan. Di dalam kajian ini, titik-titik cerapan dianggap sebagai titik-titik semakan.

### 5.1 Analisis Koordinat Titik-Titik Kawalan

Analisis dilakukan terhadap beza koordinat yang wujud diantara kedua-dua kaedah yang dinyatakan di atas. Ini melibatkan hitungan nilai maksima dan minima beza, nilai purata beza, nilai sisihan purata dan sisihan piawai beza dan juga nilai RMS (Root Mean Square) untuk beza koordinat. Jadual 3 menunjukkan analisis terhadap 9 titik kawalan dan beza diantara koordinat teodolit dan koordinat DLT.

Titik	Diberi			Hitung			Beza		
	X	Y	Z	X	Y	Z	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
1	10.532	1.289	7.639	10.531	1.289	7.636	-0.001	0.000	-0.003
2	10.762	1.399	7.600	10.762	1.398	7.610	0.000	-0.001	0.010
3	10.751	1.287	7.798	10.750	1.286	7.806	-0.001	-0.001	0.008

... sambungan

Penentuan Koordinat Bumi (X,Y,Z) Dengan Teknik Transformasi Kaedah Langsung (DLT)  
Untuk Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat

4	10.990	1.289	7.661	10.992	1.290	7.652	0.001	0.001	-0.009
5	10.954	1.145	7.750	10.955	1.145	7.743	0.001	0.000	-0.007
6	10.562	0.968	7.733	10.562	0.969	7.732	0.000	0.001	-0.001
7	10.537	0.836	7.636	10.536	0.835	7.631	-0.001	-0.001	-0.005
8	10.758	0.836	7.790	10.759	0.836	7.793	0.000	0.000	0.002
9	10.997	0.833	7.646	10.996	0.834	7.652	-0.001	0.001	0.006
Nilai Mak							0.001	0.001	-0.001
Nilai Min							0.000	0.000	0.010
Purata							-0.0002	0.0000	0.0001
Sisihan Purata							0.0003	0.0003	0.0022
Sisihan Piawai							0.0008	0.0009	0.0068
RMS							0.0008	0.0008	0.006

**Jadual 3 : Analisis Terhadap 9 Titik-Titik Kawalan**

Daripada jadual 3 di atas kita dapat melihat bahawa beza yang wujud diantara nilai koordinat X,Y dan Z untuk titik kawalan yang ditentukan melalui kaedah persilangan teodolit dan kaedah DLT adalah kecil iaitu pada ketepatan unit milimeter. Dengan nilai sisihan piawai 0.0003 meter, 0.0003 meter dan 0.0068 meter bagi beza koordinat X,Y dan Z masing-masing, kita boleh simpulkan bahawa ralat yang wujud adalah terlalu kecil dan ketepatan nilai-nilai koordinat adalah tinggi. Ini diperkuatkan lagi dengan nilai RMS yang mempamerkan nilai 0.0008 meter untuk koordinat X, 0.0008 meter untuk koordinat Y dan 0.006 meter untuk koordinat Z yang juga menunjukkan ketepatan yang tinggi terhadap beza koordinat tersebut.

## 5.2 Analisis Koordinat Titik-Titik Semakan

Satu lagi analisis yang dilakukan adalah analisis terhadap koordinat titik-titik semakan. Titik-titik semakan terdiri daripada 20 titik yang juga dianggap sebagai titik-titik transformasi DLT. Sebagaimana analisis yang dilakukan terhadap titik-titik kawalan, begitulah juga halnya dilakukan terhadap titik-titik semakan. Jadual 4 menunjukkan analisis tersebut.

Titik	Diberi			Hitung			Beza		
	X	Y	Z	X	Y	Z	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
301	10.598	1.235	7.640	10.598	1.238	7.630	0.000	-0.003	0.010
302	10.696	1.355	7.594	10.696	1.356	7.602	0.000	-0.001	-0.008
303	10.762	1.355	7.597	10.762	1.355	7.608	0.000	0.000	-0.011
304	10.819	1.354	7.600	10.820	1.355	7.616	-0.001	-0.001	-0.016
305	10.754	1.231	7.795	10.755	1.233	7.793	-0.001	-0.002	0.002
306	10.924	1.234	7.654	10.926	1.239	7.641	-0.002	-0.005	0.013
307	10.755	1.175	7.794	10.756	1.179	7.786	-0.001	-0.004	0.008
308	10.756	1.119	7.793	10.756	1.121	7.792	0.000	-0.002	0.001

. sambungan

309	10.594	1.116	7.734	10.594	1.119	7.731	0.000	-0.003	0.003
310	10.920	1.111	7.746	10.921	1.114	7.742	-0.001	-0.003	0.004
311	10.595	1.060	7.733	10.595	1.063	7.733	0.000	-0.003	0.000
312	10.756	1.062	7.792	10.757	1.065	7.794	-0.001	-0.003	-0.002
313	10.922	1.055	7.741	10.923	1.057	7.746	-0.001	-0.002	-0.005
314	10.596	1.004	7.733	10.596	1.006	7.725	0.000	-0.002	0.008
315	10.754	1.006	7.791	10.758	1.009	7.793	-0.004	-0.003	-0.002
316	10.923	0.999	7.743	10.924	1.001	7.741	-0.001	-0.002	0.002
317	10.599	0.886	7.636	10.601	0.890	7.651	-0.002	-0.004	-0.015
318	10.758	0.950	7.791	10.759	0.952	7.791	-0.001	-0.002	0.000
319	10.928	0.885	7.644	10.930	0.885	7.637	-0.002	0.000	0.007
320	10.729	0.894	7.790	10.760	0.897	7.792	-0.031	-0.003	-0.002
<b>Nilai Mak</b>							-0.031	-0.005	-0.015
<b>Nilai Min</b>							0.000	0.000	0.000
<b>Purata</b>							-0.0025	-0.003	-0.000
<b>Sisihan Purata</b>							0.0015	0.0002	0.0018
<b>Sisihan Piawai</b>							0.0068	0.0013	0.0079
<b>RMS</b>							0.007	0.003	0.008

Jadual 4 : Analisis Terhadap 20 Titik-Titik Semakan

Daripada jadual 4 di atas kita dapat melihat bahawa beza koordinat yang wujud bagi setiap titik diantara koordinat persilangan teodolit dan koordinat DLT adalah kecil dengan sisihan piawai 0.0068 meter untuk beza koordinat X, 0.0013 meter untuk beza koordinat Y dan 0.0079 meter untuk koordinat Z. Ketepatan kepada unit milimeter diperolehi dengan nilai RMS ialah 0.007 meter, 0.003 meter dan 0.008 meter bagi beza koordinat X, Y dan Z, masing-masing.

## 6.0 KESIMPULAN

Daripada kajian serta analisis yang telah dilakukan, kita dapat merumuskan bahawa teknik transformasi kaedah langsung atau DLT adalah satu teknik yang boleh digunakan untuk menentukan koordinat-koordinat titik-titik dipermukaan objek tanpa menyentuh objek dan titik tersebut. Dengan menggunakan beberapa titik kawalan yang diketahui dan ditentukan dengan tepat koordinatnya, koordinat titik-titik cerapan yang lain boleh ditentukan. Teknik ini boleh diaplikasikan kepada bidang fotogrametri jarak dekat.

## PENGHARGAAN

Kajian ini adalah sebahagian daripada projek penyelidikan tajaan Unit Penyelidikan dan Pembangunan (UPP), UTM Skudai.

## RUJUKAN

Armin W G (1989). *Digital Photogrammetric Processing Systems - Current Status And Prospects*. Photogrammetric Engineering And Remote Sensing, Vol 55, No 5, May 1989, pp. 581-586.

Burner A W., W L Snow and W K Goad (1986). *Close Range Photogrammetry With Video Camera*. NASA Langley Research Center, VA 23665.



Penentuan Koordinat Bumi (X,Y,Z) Dengan Teknik Transformasi Kaedah Langsung (DLT)  
Untuk Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat

Beyer H.A (1995). *Automated Dimensional Inspection With Real Time Photogrammetry*. ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing, 50(3) : pp 20-26.

Bernard L.C.M (1988). *Direct Linear Transformation In Determining Coordinates (X,Y,Z)*. Kertas Tajuk Khas, Fakulti Ukur, Universiti Teknologi Malaysia.

Bruce R.H (1995). *Practical Least Square And Statistics For Surveyors*, Monograf 13, School Of Geomatic Engineering, University Of New South Wales

El-Hakim S.F (1984). *A Photogrammetric Vision System For Robots*, Int. Arch. Photogrammetry And Remote Sensing, Vol XXX, Part 45, pp : 223-231

Marzan G.T and Karara H.M (1971). *A Computer Program For Direct Linear Transformation Solution Of The Collinearity Condition. And Some Applications Of It*, Proceedings Of ISPRS Commission, Illanos September 1975.